大規模病院におけるエネルギーと水の消費量に関する調査研究

RESEARCH ON ENERGY AND WATER CONSUMPTION AT LARGE-SCALE HOSPITAL

高草木 明 — * 1   吉野大輔 — * 2

Akira TAKAKUSAGI — * 1   Daisuke YOSHINO — * 2

キーワード：
病院, 電気消費量, ガス消費量, 水消費量

Keywords:
Hospital, Electricity consumption, Gas consumption, Water consumption

The maintenance records at a certain large-scale hospital, the total floor area 75,311m² hospital building and 12,793m² health checkup center, are investigated. The monthly and daily data of electricity, gas and water consumption are obtained. The paper presents the features of the hospital and the outline of the buildings at first, and then annual or monthly electricity and gas consumption, including CGS operation results, and water consumption are analyzed. Then, using the daily data, the correlation between the energy consumption and the enthalpy of outside air, the difference of the data on holidays, and the annual characteristics of energy and water consumption at weekdays are presented. The paper also shows the daily maximum electric power and the restraint kW-value for the electricity demand management.

1. はじめに

大規模病院のエネルギーと水の消費量は平均的な事務所建物などに比べ著しく大きいことが知られており、建築における低炭素化を検討するうえで無視できない。実態把握が必要である。

病院のエネルギーと水の消費量に関しては大学病院での調査結果などが報告されているが、未だ事例数は少ない。特に長期間にわたる調査データが少ない。

著者らは病床数 556 床の大規模総合病院の保全記録を調査した。この保全記録の中の電気、ガス、水の消費量の記録データにより、これらの消費特性を把握することを研究の目的とする。

まず、月次・年次の消費量を分析対象とする。事務所ビルにおける同様のエネルギー・水消費量調査結果との比較も加えている。次に、日々の消費量データを分析対象とする。

病院におけるエネルギー・水消費量は、個々の病院の診療科構成などの条件により大きな相違がある。従って、多数の病院についての調査から平均により原単位を求める調査だけでなく、1 件といえども対象病院の成り立ちを明かしたうえでの長期に及ぶ調査結果も、また一方の意義があると思われる。これが本技術報告の趣旨である。

本報告の調査結果は、今後の病院の計画や管理等にベンチマークを提供するものと考えられる。

2. 調査対象概要

病院の敷地内には病院棟、健康センター棟、看護師寮 3 棟がある。病院棟建物概要を表 1 に、同階別用途概要を表 2 に、健康センター棟の概要を表 3 に示す。

この病院における電気、ガスの消費量は 2003 年度以降、水消費量は 2002 年度以降の月別消費量の記録が残されている。また、電気、ガス、水の日々の消費量が 2005 年 6 月 1 日以来記録されている。本技術報告ではこの月次のデータと日々のデータとを使用した。

表 1 病院棟建物概要

建物用途	総合病院 病床数 556 床	階数	地上 12 階、地下 4 階
延床面積	75,310.93m ²	竣工	2000 年 10 月、同年 12 月開院
電気設備	受電設備 3φ3W22kV SNW 受電 受電変圧器 3,500kVA×3 変電設備 21,000kVA 蓄電池設備、無停電電源設備、発電設備		
コージェネレーション設備	ガスエンジン 3φ3W6.6kV 500kVA×2		
空調熱源設備	廃熱投入型ガス焚吸収式冷温水機 2,100kW×4 夜間蓄熱運転用空冷ヒートポンプチラー311kW×2 温度成層型蓄熱槽 冷水槽 1,100m ³ 、温水槽 637m ³		
空調方式	外調機+廊下壁面埋込型ファンコイルユニット (病室) 外調機+ファンコイルユニット (一般事務室他) 外調機+ターミナル AHU (診察室他) 外調機+ビル用マルチ (情報用 PS 他) 外調機+電算室用パッケージ MACS (電算機室)		
給水設備	上水受水槽 400m ³ 、雑排水槽 400m ³		
給湯設備	中央給湯方式 高層：解放式 3,600ℓ×2、低層：堅型 8,900ℓ×3、 ガス焚小型貫流ボイラ 2,000kg/h×5、電気ボイラ 75kg/h×2		
昇降機設備	エレベータ 15 台、エスカレータ 4 台、小荷物搬送機 1 台		
搬送設備	自走台車相互搬送方式、手術器材自動搬送設備低床式無人搬送方式、 薬剤搬送用垂直搬送装置、検体搬送用垂直搬送装置		

表 2 病院棟階別用途概要

11 階：特別個室病棟
10 階：緩和ケア科、脳神経外科、脳卒中センター、神経内科
9 階：血液内科、ペインクリニック科、呼吸器・肺外科
8 階：産婦人科、整形外科、糖尿病・内分泌内科
7 階：外科、皮膚科、小児科
6 階：消化器内科、泌尿器科、耳鼻咽喉科、歯科口腔外科
5 階：CCU、心臓血管外科、循環器内科、循環器内科、心臓血管外科、高血圧・腎臓内科、眼科
4 階：設備機械室 (ISS)、図書館
3 階：ICU、手術部、管理部
2 階・1 階・地下 1 階：病院診療部、放射線科、外来診療、レストラン、売店、理容室、郵便局、インターネットカフェ等サービス施設、アトリウム
地下 2 階：医療情報管理室、駐車場、設備機械室
地下 3 階・地下 4 階：駐車場、設備機械室

なお、病院棟には、レストラン、売店、郵便局などが営業しているが、これらのエネルギー、水消費量は年間原単位 (図 2, 図 11, 表 4) 以外では省いている。

*1 東洋大学理工学部建築学科 教授・博士 (工学)
(〒 350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100)

*2 東洋大学工学研究科 博士前期課程

*1 Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Engineering, Toyo Univ., Dr. Eng.

*2 Graduate Student, Dept. of Architecture, Faculty of Science and Engineering, Toyo Univ.

表3 健康センター棟概要

1972年3月竣工, 2002年10月改修完成により健康センター棟として使用	階別用途
延床面積: 12,793m ²	6階: 健康管理センター事務室
電気設備: 病院棟より給電	5階: 人間ドック宿泊室, FM サービスセンター
空調設備: 吸収式冷温水機 738kW×2	4階: 精神神経科
蒸気ボイラ 750kg/h×2	3階・2階: 予防医学センター(健康診断・人間ドック)
給水・給湯設備: 受水槽 70m ³	1階: 玄関ホール, 警備員室, 設備機械室
昇降機設備: エレベーター3台	

3. 年次・月次のエネルギー消費量

病院棟、健康センターではそれぞれ電気とガスとを使用している。これらを1次エネルギー換算し2003年度から2008年度における年間消費量の変化を図1に示した。電気とガスの構成比率に変化がみられるが、総量は安定的である。

1次エネルギー換算には、電気:9.76 [MJ/kWh]、ガス:45 [MJ/m³]とした。

著者が最近調査した10件の事務所ビルの原単位と比較すると図2のようである。事務所ビルAは、ビル使用時間が長く、また1階と地下に飲食店やスーパーマーケットがテナントとして入居しているため原単位が大きい。Bビルは情報通信系企業や医療機器メーカーがテナントとして入居し内部発熱が大きいため一般的な事務所建物より原単位が大きい。Cビルもテナントの使用している事務機器に特殊性があり、内部発熱が大きい。Dビル、Eビルは地域熱供給を受けている。Fビル～Jビルは一般的な中小ビルである。

病院棟はこれらより大きく、健康センターはほぼ一般事務所ビル並みで、平均よりやや小さい。これらの原単位データは、各事務所ビル、病院棟、健康センターとも2003年度から2008年度の6年間の平均値を使用している。ただし、病院棟のレストラン、売店、郵便局などのテナントのデータは2007年度、2008年度の2年間のデータによっている。

図3は電気、図4はガスの延床面積あたり月間消費量の暦年変化を示したものである。2008年1月からはガスの消費量が意図的に減らされている。その分、電気使用量が増加している。

ガス消費量の用途別内訳を、病院棟は図5、健康センターは図6に示す。病院棟において、厨房での消費量はこの図では見えない程度で、主に冷暖房、給湯とコージェネレーションシステム（以降、CGS）で消費されている。健康センターでは空調と給湯にのみ使用されている。いずれの用途でもガス消費量が徐々に低減されてきている。図7は病院棟のCGSにおける発電量の暦年変化である。2008年1月以降、CGSの運用を減らしている。この様にガスの消費を減らしているのは建物管理者による経済性検討の結果によるものである。

図8は病院棟と健康センターでの売電消費量について、昼間の電力と夜間電力の内訳を示したものである。総計で夜間電力が51.3[%]に達している。病院は用途の性格上、夜間にも照明、空調、医療機器などが使用され夜間の電気使用量割合が比較的大きく、更にこの病院棟には夜間蓄熱用のヒートポンプチャラーと冷水・温水蓄熱槽が設けられている。このため電気料金単価が低く、ガス料金が値上がりするとガスから電気へのシフトによる経済効果が現れやすい。図9は、この病院における2004年以降のガス料金の変化である。

この病院では、現場常駐の建物管理者によりコストとリンクして設備運用が管理され、かつきめ細かな電力デマンド管理、空調再熱の抑制、建物使用者によるエネルギー消費の無駄の排除を目的とした省エネルギーパトロールなどが行われている。記録によれば、2005

図1 年間1次エネルギー消費量

図2 事務所ビルとの原単位比較 (1次エネルギー)

図3 延床面積あたり月間電気消費

図4 延床面積あたり月間ガス消費

図5 病院棟ガスの用途別月間消費量

図6 健康センター棟ガスの用途別月間消費量

図7 病院棟 CGS の発電量

図8 病院棟と健康センターにおける昼間売電と夜間売電消費量（2005年度以降）

図9 ガス料金の変化

表4 既往研究のデータとの比較

年間1次エネルギー消費量[MJ/m ² 年]	延床面積[m ²]	件数(データ数)	文献番号	データ期間
3109	75310.93	1	本調査	2003～2008年度
約4000(平均)	50,000 ～ 120,000	6	1)	1997年度
4729.65	58424.07	1	2)	1997、1998年度
2961(平均)	20,000以上	6	3) (北海道)	1999年度
2215(平均)	小規模～大規模	62	5) (北海道)	2000年度
3340	34567	1	6)	2002、2003年度
4231	76043	1	7)、8)	2004年度
3632	約29,000	1		2003～2005年度
4144	約53,000	1	9)、10)	2003～2005年度
3850	約37,000	1		2004、2005年度
4109	約20,000	1		2005年度
約4000	40688	1	11)	2003～2005年度
約4200	27471	1	13)	2006年度
約3400(平均)	30,000以上	19	15)	2006年度
3393(平均)	13,055 ～ 94,827	21	16)	2005、2006年度
4411(平均)	44,334 ～ 100,712	10	18)	2007年度

年以來、この病院の建物管理者は省エネルギーに重点的に取り組んできた。その成果は2006年度から現れている。

年間1次エネルギー消費量原単位を既往調査の他の病院のデータと比較すると表4のようになる。エネルギー消費量と延床面積で「約」と付してある数字は、数値が文献中に記載されていないためグラフから読み取った値である。本調査対象の病院棟のエネルギー消費量は他の大規模病院と比べ小さいといえる。

4. 水消費量

図10は延床面積あたり年間水消費量である。2004年度のデータには一部欠落があるため除外した。エネルギー消費量と同様、2006年度以降減っている。健康センターの水使用量のデータは2004年度以前のものが無い。

図10 延床面積あたり年間水消費量

病院レストラン等以外は、いずれも2003年度～2008年度の平均年間水消費量

図11 事務所ビルとの原単位比較（水消費量）

図12 病院棟における水消費量（2カ月毎）

これら平均を事務所ビルの原単位と比較すると図11のようになる。健康センターは一般事務所ビルなみであるが、病院棟は著しく原単位が大きい。

図12は、病院棟の2カ月毎の水消費量の変化である。毎年7月、9月がピークとなる。

5. 平日のエネルギー・水消費量と外気エンタルピ

この病院における電気、ガス、水の日々の消費量が2005年6月1日以来記録されている。日々のデータの概要を表5に示す。土日、祝日、年末年始（12月29日～1月3日）は外来休診となっている。日々の計測は毎朝10:00に行っている。例えば月曜の計測結果は、ほぼ前日の日曜日の結果であるから、保全記録上は月曜のデータとなっているが本調査では1日ずらして日曜のデータというようにした。

計測は保全員が行っており自動計測ではない。従って、計測時間が若干ずれることがある。個々のデータは当日の10:00から翌日の10:00までの消費量である。このようにして土曜、日曜、祝日のデータを除き、平日のデータとしている。計測時間の設定のため金曜のデータには負荷の軽い土曜日の深夜から朝10:00までが加わるので金曜は他の平日に比べ消費量がやや少ない。

本論文では2009年9月17日までのデータを分析対象とした。図13は、平日における電気、ガスの1次エネルギー消費量と保全現場で計測された温度、湿度より計算した外気エンタルピの日変動を示したものである。

表5 日々のデータの概要

電気消費量、ガス消費量、水消費量データ
データ期間：2005年6月1日～2009年9月17日
05年10月1日、同2日のデータは電気、ガス、水とも欠落
電気消費量のみ09年9月15日のデータが欠落
2006年4月8日と2005年8月20日が異常値のため削除
水消費量のみ07年3月25日のデータが欠落

図13 平日の電気・ガス1次エネルギー消費量と外気エンタルピーの日変化

図14 外気エンタルピーと1次エネルギー消費量の関係

図15 外気エンタルピーと電気消費量の関係
(冬期、外気エンタルピー 35[kJ/kgDA]未満)

図14は外気エンタルピーと1次エネルギー消費量の関係である。電気消費量の場合、冬期は図15のように外気エンタルピーに関わらずほぼ一定である。夏期は図16のように外気エンタルピーと相関性が高い。これは主に空調設備の運転のためである。

ガス消費量の場合、冬期は図17のように外気エンタルピーとある程度の相関性が認められる。これは、暖房を主にガスによっているからである。夏期は図18のようになる。この相関性の高さは吸収式冷凍機の使用のためである

水消費量は図19示すように冬期は外気エンタルピーに関わらないが、夏期は図20に示すようにある程度の相関が認められる。

なお、冬期と夏期との境は図14において、1次エネルギー消費量が最も小さくなる外気エンタルピー 35 [kJ/kgDA]とした。

図16 外気エンタルピーと電気消費量の関係
(夏期、外気エンタルピー 35[kJ/kgDA]以上)

図17 外気エンタルピーとガス消費量の関係
(冬期、外気エンタルピー 35[kJ/kgDA]未満)

図18 外気エンタルピーとガス消費量の関係
(夏期、外気エンタルピー 35[kJ/kgDA]以上)

図19 外気エンタルピーと水消費量の関係
(冬期、外気エンタルピー 35[kJ/kgDA]未満)

図20 外気エンタルピーと水消費量の関係
(夏期、外気エンタルピー 35[kJ/kgDA]未満)

6. 休日（土日と祝日）のデータ

土日、祝日は外来休診のためエネルギー消費量と水消費量とが小さくなる。電気とガスについて冬期と夏期に分けて日平均1次エネルギーでの平日と休日の相違を示すと図21のようになる。休日の消費量は平日に比べると、冬期は、電気が85.1[%]、ガスが84.2[%]で、夏期は、電気が84.1[%]、ガスは80[%]である。

この病院は特高受電で遠隔監視装置を備えているので、日曜日には電気料金が夜間料金の水準になる。このため、ガス料金とのかねあいで、2008年1月以降は、日曜日のガスによるCGSの運転をとりやめるなどの運用を行っており、休日のガス消費にはこの影響もある。

水消費量は、図22に示すように休日には平日に比べ、冬期に61.7[%]、夏期に66.7[%]と顕著に小さい。

図21 日平均1次エネルギー消費量

図22 日平均上水消費量

7. 日々のデータ（平日）による年間消費特性

年間の平日の日数は242日～246日である。この日数の平日の1日あたりのエネルギー消費量について、2005年9月から1年毎に累積度数曲線によって年間の消費特性を示す。

図23は1次エネルギー消費量の年間消費特性である。2006年9月～2009年8月の3年間では、およそ50日間は1日に消費する1次エネルギーが750[GJ]程度以下であり、150日間は750～900[GJ]の狭い範囲にある。42～46日間はエネルギー消費のピークで、900～1200[GJ]と広い範囲に及ぶ。省エネルギー対策の実施前の2005年9月からの1年間は1次エネルギー消費量が顕著に大きい。

図24は電気の年間消費特性である。2005年9月からの3年間では、100日間強程度は電気消費量が狭い範囲にあるが、140日間程度は広い範囲となり、ピークの日数は少ない。2008年9月からの1年間は主に43000～47000[kWh]の範囲で度数が減り、1日あたり電気消費量の平均値が大きくなっている。主にCGSの運転を減らしたことに伴う変化と考えられる。

図25はガスの場合であり、図23の1次エネルギーの場合と似た

図23 1次エネルギー（電気＋ガス）の年間消費特性（平日）

図24 電気の年間消費特性（平日）

図25 ガスの年間消費特性（平日）

図26 上水の年間消費特性（平日）

S字型曲線を成している。

図26は上水の年間消費特性を示す。2005年9月からの1年間には、一時的な水の過剰消費があった。節水と省エネルギー策強化のきっかけの一つとなった。以降、安定している。

8. 最大電力とデマンド制御

調査対象病院では電力デマンド制御を自動ではなく保全員の判断でマニュアルにより行っている。

2005年6月20日以降、デマンド制御の記録として日最大電力と、規制値が記録されている。図27は平日の電気消費量と日最大電力の相関である。これらの相関性は高い。

図28はデマンド制御の規制値の度数分布である。これは2005年6月20日から2009年9月17日までの1549日(2日欠測)のデータを平日と休日に分けて示したものである。200～250[kW]における規制が平日、休日とも最も多い。日最大電力は平日では2000～2500[kW]程度が多いので、およそ1割程度の規制がかかけられているとみられる。休日は平日と同程度の規制をかけており、休日は日最大電力が小さいからこの割合は大きくなっている。

図27 平日1日あたり電気消費量と日最大電力の相関

図28 デマンド制御規制値の度数分布

9. まとめ

病床数556床の大規模病院の病院棟と健康センター棟についてエネルギーと水消費量の長期にわたる記録データを調査した。

まず、病院の建物概要を示したうえで、年次、月次の消費量データにより原単位や暦年変化を示しエネルギーと水の消費特性を把握した。原単位により事務所建物の場合と比較すると、1次エネルギー消費量は、病院棟では事務所建物10件の平均より約1.7倍大きく、健康センターでは事務所建物平均よりやや小さい。水消費量は、病院棟では事務所建物よりはるかに大きく、健康センターでは同程度である。1次エネルギー、水とも長期的には減少傾向を示している。

長期にわたる電気、ガス消費量、CGS発電量の変動状況から、ガス料金の変化に対応した熱源設備運用上の現場での工夫が窺える。

次に、日々のエネルギー・水消費量データを分析した。まず、平日の1日あたりのエネルギー・水消費量と外気エンタルピとの相関

性を示した。また、休日のエネルギー・水消費量について平日との相違を示した。

平日のエネルギー・水消費量データにより2005年9月から1年毎に累積度数曲線を作成し、これによって年間の消費特性を把握した。また、電力デマンド制御における規制値の状況を示した。

参考文献

- 1) 三浦秀一, 須藤諭, 渡辺浩文, 吉野博: 東北地方における店舗及び病院のエネルギー消費に関する調査 東北地方における建築物のエネルギー消費実態に関する調査研究 その1, 日本建築学会東北支部研究報告集, pp. 317-322, 1999. 6
- 2) 松本敏男, 工藤牧子, 小島龍也: YU 病院におけるエネルギー消費量の実測調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 分冊, p. 1063, 1999. 9
- 3) 久保田克己, 羽山広文, 森太郎, 繪内正道, 田甫英之: 北海道における病院建築物のエネルギー消費実態調査 第1報 札幌市における調査結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 分冊, p. 591, 2001. 9
- 4) 田甫英之, 羽山広文, 森太郎, 繪内正道, 久保田克己: 北海道における病院建築物のエネルギー消費実態調査 第2報 エネルギー消費特性の分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 分冊, p. 593, 2001. 9
- 5) 羽山広文, 田甫英之, 繪内正道, 森太郎: 札幌市における業務用建築物のエネルギー消費実態調査 その1 事務所・病院・学校の調査結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 分冊, p. 513, 2002. 8
- 6) 土川紫乃文, 奥宮正哉, 田中英紀: 病院施設の運転時性能検証に関する研究 第1報 既設病院のエネルギー消費と熱源運転実態調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 分冊, p. 1449, 2004. 8
- 7) 大田智紀, 浅野良晴: SU 病院におけるエネルギー消費量に関する調査研究, 日本建築学会北陸支部研究報告集, pp. 165-168, 2006. 7
- 8) 大田智紀, 浅野良晴: SU 病院におけるエネルギー消費量に関する調査研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 分冊, p. 241, 2006. 9
- 9) 玄姫, 渡辺仁人, 高偉俊: 病院のエネルギー消費量について 北九州市における病院のエネルギー消費量に関する実態調査(その1), 日本建築学会九州支部研究報告集, pp. 401-404, 2007. 3
- 10) 玄姫, 高偉俊, 李海峰: 総合病院のエネルギー消費量実態 北九州市における病院のエネルギー消費量に関する研究(その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 分冊, p. 853, 2007. 8
- 11) 渡辺仁人, 玄姫, 高偉俊: 北九州市立医療センターにおけるエネルギーシステムの利用状況 北九州市における病院のエネルギー消費量に関する実態調査(その2), 日本建築学会九州支部研究報告集, pp. 405-409, 2007. 3
- 12) 高偉俊, 玄姫, 李海峰: 市立医療センターのエネルギー消費システムの実態 北九州市における病院のエネルギー消費量に関する研究(その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 分冊, p. 855, 2007. 8
- 13) 黒田英男, 河村貢, 三原一伸, 山内桂一: 榊原記念病院の部門別エネルギー消費実態について(第一報: 病院全体のエネルギー消費実態の概要), 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 分冊, p. 1383, 2007. 8
- 14) 黒田英男, 河村貢, 浅谷貴樹, 馳平心: 榊原記念病院の部門別エネルギー消費実態について(第二報: 部門・エリア別エネルギー消費), 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2 分冊, p. 1261, 2008. 9
- 15) 三浦秀一, 吉野博, 須藤諭, 渡辺浩文, 許雷, 井城依真: 東北地方における建築物のエネルギー消費特性に関する実態調査 庁舎及び病院のエネルギー消費量, 日本建築学会東北支部研究報告集, pp. 41-42, 2008. 6
- 16) 朴省俊, 湯浅和博, 新谷健: 病院のエネルギー消費に関する研究 その1 アンケート調査に基づくエネルギー消費量, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 分冊, p. 805, 2009. 8
- 17) 新谷健, 湯浅和博, 朴省俊: 病院のエネルギー消費に関する研究 その2 エネルギー消費構造に関する分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1 分冊, p. 807, 2009. 8
- 18) 塙雄太, 恒川和久, 生田京子, 谷口元: 大学附属病院における施設運営費及びエネルギー消費量に関する研究—中部地方の大学におけるケーススタディー, 日本建築学会大会学術講演梗概集 F-1 分冊, p. 1451, 2009. 8

[2010年6月17日原稿受理 2010年7月30日採用決定]